



---

**PENGARUH WATER CEMENT RATIO TERHADAP  
SETTING TIME SEMEN INJEKSI PADA CONVEYOR DRIFT  
DI TAMBANG BAWAH TANAH**

Oleh

<sup>1)</sup> Sudarsono <sup>1)</sup> Tedy Agung Cahyadi <sup>2)</sup> Freddy N.D. Simonapendi

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta

<sup>2)</sup> Mahasiswa Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta

**Abstrak**

Pada proses *development* yang dilakukan pada tambang bawah tanah, khususnya pada *conveyor drift* sering terdapat aliran air yang melalui rekahan-rekahan batuan yang mengakibatkan terganggunya pekerjaan pada tahap *development* sehingga aliran air ini perlu dihentikan agar pekerjaan dapat dilanjutkan kembali. Salah satu metode yang akan digunakan untuk menghentikan air ini adalah dengan menggunakan *grouting* (injeksi semen ke dalam rekahan batuan) dengan tujuan menutup rekahan antar batuan dan menghentikan aliran air.

Campuran *grouting* yang diuji pada penelitian ini terdiri dari 3 komposisi yaitu pertama komposisi air dan semen, kedua komposisi air, semen dan 6% *flowcable* dan ketiga komposisi air, semen dan 2% *glenium*. Masing-masing komposisi dibuat 4 *water cement ratio* yaitu 0,8;1,0;1,5 dan 2,0.

Hasil penelitian menunjukkan untuk masing-masing *water cement ratio* dari komposisi yang dibuat mempunyai *setting time* dan kuat tekan yang berbeda-beda. Penambahan *flowcable* dan *glenium* pada campuran *grouting* akan memperlambat *setting* tetapi meningkatkan kekuatan tekan dari *grouting*. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu dan juga komposisi yang dipakai. Penambahan material seperti *flowcable* dan *glenium* akan mengakibatkan pengikatan butiran semen yang baik sehingga dapat meningkatkan kuat tekan *grouting* tetapi mempunyai *setting time* yang lama.

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah untuk masing-masing komposisi *water cement ratio* mempunyai *setting time* dan kuat tekan yang berbeda, tergantung dari material yang digunakan. Untuk *water cement ratio* yang sama, *setting time* yang paling baik adalah campuran air dan semen, untuk kuat tekannya yang paling baik adalah campuran air, semen dengan penambahan *flowcable* ataupun *glenium*.

Untuk itu disarankan dalam melakukan penginjeksian untuk menghentikan aliran air sebaiknya digunakan komposisi air, semen dengan penambahan 6% *flowcable* dengan *water cement ratio* 0,8 karena kekuatannya memenuhi SNI, yaitu 40 MPa dalam waktu 28 hari, selain itu juga campuran ini mempunyai *setting time* yang hampir sama dengan campuran air dan semen.

Kata kunci : *water cement ratio, setting time, air, flowcable, glenium*

**Abstract**

In the process of development in underground mines, especially on the conveyor drift there is often flow of water through the rock fracture that resulted in disruption of work at this stage of development so that the water flow needs to be stopped so that work can be resumed. One method that will be used to stop this water is by using grouting (injection of cement into the cracks of rocks) with the aim of closing cracks between the rocks and stop the flow of water .

Grouting mixtures tested in this study consisted of three compositions of the first composition of water and cement, both the composition of water, cement and 6% flowcable and third composition of water, cement and 2% Glenium. Each composition was made four water-cement ratio of 0.8, 1.0, 1.5 and 2.0.

The results showed for each water-cement ratio of composition which have made the setting time and compressive strength vary. Addition flowcable and Glenium the grouting mix will slow the setting but increase the strength of the grouting. This is influenced by several factors such as temperature and composition are also used. The addition of such material and Glenium flowcable will result in the binding cement of good grains so as to increase the compressive strength grouting but has set a long time.

The conclusion that can be drawn from this study is for each composition having a water cement ratio, setting time and compressive strength are different, depending on the material used. For the same



water cement ratio, setting the best time is a mixture of water and cement, to strong compressive best is a mixture of water, with the addition of cement glenium or flowcable.

It is recommended in making injection to stop the flow of water should be used in the composition of water, cement with the addition of 6% flowcable with a water cement ratio of 0.8 because of its power to meet the standard SNI, which is 40 MPa within 28 days, but it also has a mixture of setting time is almost the same with a mixture of water and cement.

Key words : water cement ratio, setting time, air, flowcable, glenium

### Latar Belakang Penelitian

Perusahaan tambang ini adalah perusahaan tambang yang berada di Indonesia dan bergerak dalam penambangan tembaga dan emas. Metode penambangan yang digunakan adalah tambang terbuka dan tambang bawah tanah.

Dalam proses *development* terdapat aliran air yang melalui rekahan dan void yang terdapat dalam batuan, sehingga aliran air ini perlu dihentikan. Metode yang digunakan adalah grouting. Karena metode ini adalah metode baru, perlu dilakukan penelitian terhadap *Water Cement Ratio (WCR)*, *setting time* dan kuat tekan serta segregasi.

### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan *water cement ratio* dan *setting time*, yang terdiri dari beberapa komposisi campuran antara air, semen dengan penambahan 6% *flowcable* dan 2% *glenium* yang mempunyai kuat tekan 40 MPa dalam waktu 28 hari yang akan diinjeksikan ke dalam rekahan batuan untuk *water stopping*

### Metodologi

Metode penelitian diawali dengan studi literatur kemudian dilanjutkan dengan observasi lapangan (pengambilan data primer), pengujian laboratorium, studi pustaka (pengambilan data sekunder), pengolahan data dan melakukan analisis dari data-data yang ada untuk menyelesaikan masalah. Adapun urutan pekerjaan penelitian adalah sebagai berikut :

#### 1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan informasi dan juga mempelajari bahan-bahan pustaka yang akan menunjang penelitian. Data-data berikut ini merupakan data yang menjadi literatur di perusahaan yang juga digunakan sebagai data sekunder, antara lain :

- a. Data umum tentang lokasi, topografi dan geologi.
- b. Sistem penambangan .
- c. Peta-peta tambang.
- d. Kesempaan daerah.
2. Penelitian di laboratorium  
Penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan data sebagai berikut:
  - a. Data *segregasi*.
  - b. Data *Uniaxial compressive strength* (UCS).
  - c. Analysis *setting time*.
  - d. Komposisi bahan campuran semen *grouting*.
  - e. *Water cement ratio grouting*.
  - f. Pengaruh penambahan *flowcable* dan *glenium* terhadap kekuatan dari semen *grouting*.

### Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### Hasil Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium dengan membuat sampel untuk masing-masing pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian *setting time*, pengujian kuat tekan dan pengujian waktu segregasi.



PROSIDING SIMPOSIUM DAN SEMINAR  
GEOMEKANIKA KE-1 TAHUN 2012  
MENGAGAS MASA DEPAN REKAYASA BATUAN &  
TEROWONGAN DI INDONESIA



Pengujian Kuat Tekan



Pengujian Waktu  
Segregasi

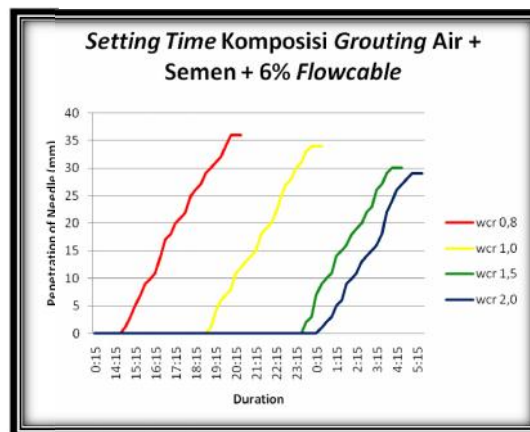
Gambar 1  
Pengujian Kuat Tekan dan Waktu Segregasi

Bahan-bahan pembentuk *grouting* semen injeksi terdiri dari bahan utama berupa semen dan air dan juga bahan tambahan seperti *flowable* dan *glenium*.

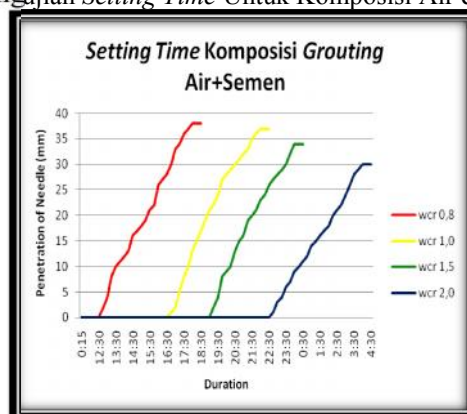
1. Setting Time

*Setting time* diuji untuk masing-masing komposisi yaitu komposisi air dan semen,

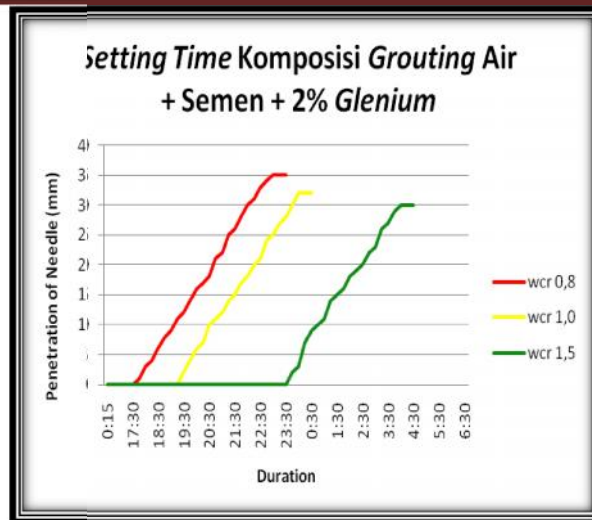
kemudian komposisi air, semen dengan penambahan 6% *flowable* serta komposisi air, semen dengan penambahan 2% *Glenium*, masing-masing untuk WCR 0,8 ; 1,0 ; 1,5 dan 2,0. Berikut adalah hasil pengujian *setting time*.



Gambar 3  
Hasil Pengujian *Setting Time* Untuk Komposisi Air dan Semen



Gambar 4  
Hasil Pengujian *Setting Time* Untuk Komposisi Air dan Semen Dengan Penambahan 6% *Flowable*



Gambar 5

Hasil Pengujian Setting Time Untuk Komposisi Air dan Semen Dengan Penambahan 2% *Glenium*

## 2. Kuat Tekan

Kuat tekan dalam pengujian ini diperlukan sebagai salah satu parameter dari kualitas grout untuk masing-masing komposisi

yaitu komposisi air dan semen, kemudian komposisi air, semen dengan penambahan 6% *flowable* serta berikutnya komposisi air,



Gambar 6  
Sampel Uji Kuat Tekan

semen dengan penambahan 2% *glenium*, masing-masing untuk WCR 0,8 ; 1,0 ; 1,5 dan 2,0. Berikut adalah hasil pengujian *setting time*. Sampel yang dibuat berbentuk kubus berukuran

15 cm x 15 cm x 15 cm. Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan



Tabel 1  
Hasil Uji Kuat Tekan WCR 0,8

Nomor	Komposisi	3 Hari (MPa)	7 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
1	Air + Semen	8,15	11,11	36,54
2	Air + Semen + 6% <i>Flowcable</i>	6,67	14,72	41,67
3	Air + Semen + 2% <i>Glenium</i>	8,77	36,49	36,54

Tabel 2  
Hasil Uji Kuat Tekan WCR 1,0

Nomor	Komposisi	3 Hari (MPa)	7 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
1	Air + Semen	3,33	8,33	23,33
2	Air + Semen + 6% <i>Flowcable</i>	3,33	10	27,08
3	Air + Semen + 2% <i>Glenium</i>	6,67	16,67	42,22

Tabel 3  
Hasil Uji Kuat Tekan WCR 1.5

Nomor	Komposisi	3 Hari (MPa)	7 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
1	Air + Semen	3,33	7,14	11,43
2	Air + Semen + 6% <i>Flowcable</i>	2,56	9,23	23,08

Tabel 4  
Hasil Uji Kuat Tekan WCR 1,5

Nomor	Komposisi	3 Hari MPa)	7 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
1	Air + Semen	6,67	10,72	26,64
2	Air + Semen + 6% <i>Flowcable</i>	6,06	13,33	31,82
3	Air + Semen + 2% <i>Glenium</i>	8,63	20	43,53



### 3. Waktu Segregasi

Waktu segregasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk material padat (semen) mengendap, hal ini sangat penting pada saat

mixing grout. Berikut adalah hasil dari uji segregasi.

Tabel 5  
Waktu Segregasi

No	WCR	Komposisi Air + Semen	Komposisi Air + Semen + 6% <i>Flowcable</i>	Komposisi Air + Semen + 2% <i>Glenium</i>
1	0,8	12 menit 30 detik	11 menit 40 detik	10 menit 10 detik
2	1,0	7 menit 15 detik	7 menit	5 menit 50 detik
3	1,5	5 menit 10 detik	5 menit	4 menit 10 detik
4	2,0	3 menit 15 detik	3 menit	2 menit 15 detik

### Pembahasan

#### 1. Analisa *Setting Time*, Segregasi dan Kuat tekan.

*Setting time* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya suhu, jumlah kandungan air dalam campuran (berhubungan dengan WCR) dan juga jenis material penyusunnya. Suhu yang semakin rendah akan memperlambat hidrasi sehingga *setting* yang dicapai akan semakin lama.

Kuat tekan merupakan faktor penting dalam penentuan kualitas *grouting*. Kuat tekan ini sangat dipengaruhi oleh kandungan material yang dipakai juga berhubungan dengan ukuran material. Dengan penambahan zat aditif seperti *flowcable* dan *glenium* akan semakin meningkatkan kuat tekan dari *grout*.

Ada beberapa faktor yang mengakibatkan *setting time* antara masing-masing komposisi ini.

##### a. Jumlah air pada campuran bahan *grout*

Air yang digunakan pada campuran bahan *grouting* ini tergantung dari *water cement ratio* yang digunakan. Banyaknya air yang terdapat pada campuran *grouting* akan mempengaruhi *setting time* atau waktu pengikatan butiran semen setelah bereaksi.

Jumlah air yang banyak mengakibatkan adanya jarak yang jauh antar butiran semen yang terdapat di dalam campuran bahan *grouting*, hal ini akan mempengaruhi lamanya waktu pengikatan antara butiran-butiran semen. Semakin banyak kandungan air yang terdapat pada campuran *grouting* maka waktu yang

diperlukan untuk butiran semen mengikat akan semakin lama.

##### b. Suhu

Suhu sangat berpengaruh pada pencapaian *setting time*. Hal ini berkaitan dengan hidrasi dari pasta semen *grouting*. Umumnya suhu yang rendah akan mengakibatkan *setting time* yang lama jika dibandingkan dengan suhu yang tinggi, dimana suhu yang tinggi akan mempercepat *setting time*.

Kenaikan dan penurunan suhu yang terjadi secara tiba-tiba juga dapat berdampak pada pasta semen yang diinjeksikan, yaitu akan terbentuk rekahan-rekahan di dalam pasta semen itu sendiri. Karena jika suhu relatif konstan maka semen yang diinjeksi dapat bekerja maksimal, sebaliknya terjadi perubahan suhu yang drastis maka kerja dari semen yang diinjeksi tidak maksimal. *Setting time* sangat penting dalam penginjeksian bahan *grout* ke dalam rekahan antar batuan untuk menghentikan aliran air. Dalam sebuah konstruksi di tambang bawah tanah *setting time* ini yang nantinya akan dijadikan sebagai acuan untuk melaksanakan pekerjaan selanjutnya. Jika material *grout* yang diinjeksikan sudah mencapai *setting time* maka pekerjaan selanjutnya dapat dilakukan tetapi jika material *grout* yang diinjeksikan belum mencapai *setting time* maka pekerjaan selanjutnya tidak dapat dilakukan.

Campuran *grouting* dengan penambahan 6% *flowcable* dari berat semen pada WCR 0,8





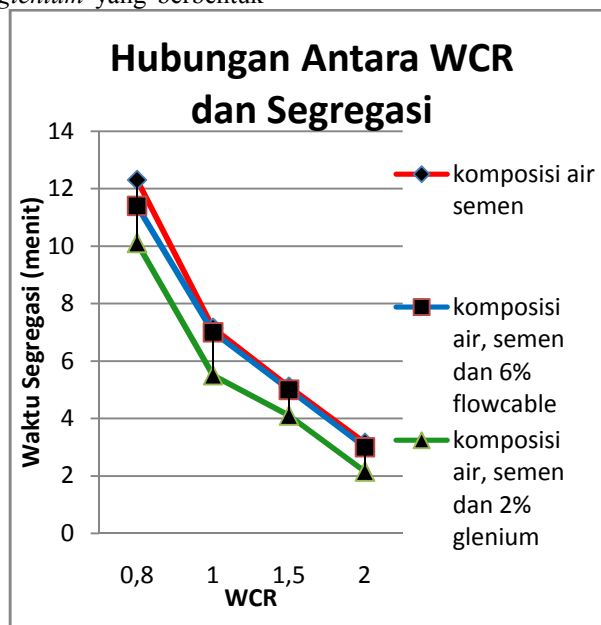
mempunyai *setting time* 22 jam jika dibandingkan dengan campuran *grouting* yang hanya menggunakan air dan semen (dengan *water cement ratio* yang sama) maka *grouting* yang hanya menggunakan air dan semen mempunyai *setting* yang lebih cepat yaitu mencapai 18 jam. Hal ini berarti bahwa bahan *grout* dengan WCR 0,8 untuk campuran air dan semen jika diinjeksikan ke dalam rekahan untuk *water stopping* maka pekerjaan selanjutnya berupa pemboran dan peledakan untuk tahap *development* dapat dilakukan setelah 18 jam, sedangkan campuran air, semen dan 6% *flowable* dapat dengan WCR 0,8 dapat dilakukan pekerjaan selanjutnya setelah 22 jam.

Pada penambahan 2% *glenium* dari berat semen pada *water cement ratio* yang sama menghasilkan *setting time* yang lama, pada WCR 0,8 mencapai *setting time* 23 jam, jika dibandingkan dengan air dan semen, juga dengan penambahan *flowable* (lihat Tabel 5.1). Ini disebabkan karena *glenium* yang berbentuk

cair sehingga mengakibatkan pasta semen sangat cair dan sulit untuk mengikat antar butiran semen.

Dalam pekerjaan *development*, *setting time* ini akan mempengaruhi waktu yang diperlukan untuk pekerjaan pada tahap *development*. Semakin besar WCR yang digunakan maka *setting time* yang dicapai material *grout* akan semakin lama, dan juga pekerjaan selanjutnya pada tahap *development* yang akan dilakukan juga akan semakin lama. Hal ini berpengaruh pada penjadwalan tahap *development* pada *conveyor drift*.

Untuk *setting time* yang paling baik di peroleh dari komposisi air dan semen dengan WCR 0,8 yang mencapai 18 jam untuk mencapai *setting time*. Hal ini sangat dipengaruhi oleh suhu dan juga komposisi yang dipakai dalam campuran *grouting* tersebut.



Gambar 7  
Hubungan WCR dan Segregasi

## 2. Dimensi Conto

Conto yang dibuat untuk pengujian kuat tekan yang terbentuk dari hasil pengujian untuk masing-masing *water cement ratio* dari masing-masing komposisi yang diuji mempunyai dimensi yang berbeda. Hal ini dikarenakan adanya penambahan *flowable* dan *glenium* sebagai *superplasticizer* sehingga

sampel yang terbentuk berbeda-beda. Dimensi conto yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 6.



Tabel 6  
Dimensi Conto

Komposisi	Dimensi WCR 0,8	Dimensi WCR 1,0	Dimensi WCR 1,5	Dimensi WCR 2,0
Air dan semen	15cm x 15cm x 13,5cm	15cm x 15cm x 11,5cm	15cm x 15cm x 8cm	15cm x 15cm x 7cm
Air, semen dan 6% <i>flowcable</i>	15cm x 15cm x 12cm	15cm x 15cm x 11cm	15cm x 15cm x 8cm	15cm x 15cm x 6,5cm
Air, semen dan 2% <i>glenium</i>	15cm x 15cm x 9,5cm	15cm x 15cm x 8,5cm	15cm x 15cm x 6cm	-

Pada setiap komposisi yang dipakai, umumnya semakin kecil *water cement ratio* maka volume dari sampel yang terbentuk akan semakin besar. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah air dalam campuran *grouting* dan penambahan dari *glenium* juga *flowcable* sebagai *water reducer*. Penambahan zat-zat seperti *flowcable* dan *glenium* sebagai *water reducer* membuat material pasta semen yang terbentuk semakin cair, sehingga sampel yang terbentuk akibat penambahan *flowcable* dan *glenium* ini juga mengalami penyusutan. (lihat tabel 6)

Penyusutan yang terjadi pada masing-masing sampel yang terbentuk sangat berpengaruh pada pengujian kuat tekan yang dilakukan. Sampel yang menyusut mengakibatkan panjang salah satu sisi pada sampel ini akan berkurang, yang seharusnya berbentuk kubus, maka akibat penyusutan, sampel ini tidak sepenuhnya berbentuk kubus.

Untuk itu maka pada saat pengujian kuat tekan, luas dari bidang yang diberikan gaya (beban) berbeda-beda, sehingga hasil pengujian kuat tekan yang di dapat juga berbeda-beda. hasil uji kuat tekan merupakan perbandingan antara beban yang diberikan (KN) dengan luas bidang yang menerima beban (cm<sup>2</sup>)

$$CS = F / A$$

CS : *Compressive Strength* (MPa)

F : Gaya Tekan (KN)

A : Luas Permukaan (cm<sup>2</sup>)

Jika terjadi penyusutan pada sampel, maka luas permukaan yang menerima beban yang diberikan oleh mesin UCS (untuk pengujian kuat tekan) akan berbeda sehingga hasil pengujian kuat tekan yang di dapat akan berbeda juga. Hal ini harus diperhatikan dalam melakukan pengujian kuat tekan, karena sampel yang terbentuk jika mengalami penyusutan harus dilakukan koreksi pada perhitungan kuat tekan.

Jika sampel kubus mengalami penyusutan maka presentase kehilangan sampel dapat dihitung dengan:

$$L' = ((L_0 - L) / L_0) \times 100\%$$

L' = besarnya penyusutan (%)

L<sub>0</sub> = panjang sampel yang seharusnya terbentuk (cm)

L = panjang sampel yang terbentuk akibat penyusutan (cm)

Sehingga dalam perhitungan kuat tekan dapat dihitung tekanan maksimal yang dapat di bebaskan pada sampel (jika sampel yang terbentuk tidak mengalami penyusutan)

$$F_{max}' = ((F_{max_0} - F_{maks}) / F_{max_0}) \times 100\%$$

F<sub>max</sub>' = besarnya penyusutan beban yang diberikan (%)

F<sub>max<sub>0</sub></sub> = beban yang diberikan jika sampel tidak menyusut (KN)

F<sub>max</sub> = beban yang diberikan pada saat benda menyusut (KN)

Dengan demikian antara presentase penyusutan salah satu sisi sampel kubus dengan presentase pengurangan luas permukaan dan presentase pengurangan pembebanan maksimum sampel dapat dikatakan memiliki presentase yang sama besar, sehingga dapat digunakan untuk menghitung nilai koreksi terhadap sampel kubus dengan syarat memiliki komposisi yang sama dan homogen serta tinggi sampel yang sama sehingga hanya luas permukaan yang mendapat pembebanan vertikal saja yang berbeda.

### 3. Hubungan Antara *Water Cement Ratio*, *Setting Time* dan Kuat Tekan *Grouting*

Setelah melalui proses pengamatan, terdapat hubungan antara *water cement ratio*, *setting time* dan juga kuat tekan dari *grouting* untuk semen injeksi. Semakin besar *water cement ratio* dari masing-masing komposisi

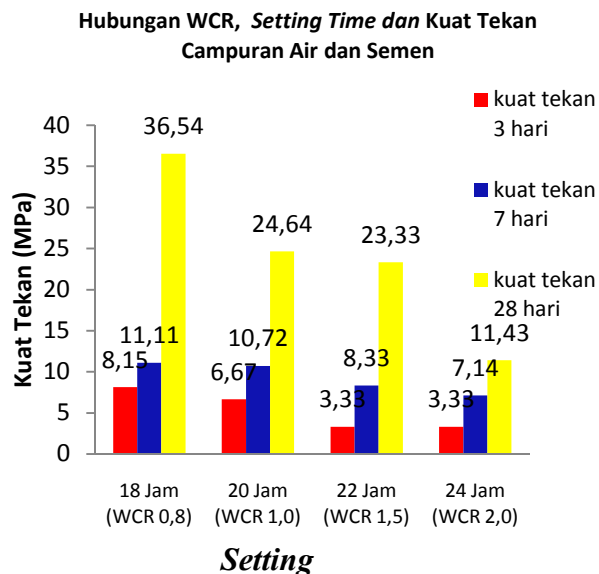




yang digunakan untuk campuran *grouting* semen injeksi, maka *setting time* yang dihasilkan akan semakin lama.

*Water cement ratio* juga mempunyai hubungan dengan kuat tekan dari *grouting* untuk semen injeksi. Semakin kecil *water cement ratio* maka kuat tekannya akan semakin tinggi. Pada campuran semen dan air dari 4

WCR yang diuji kuat tekan yang paling tinggi dihasilkan oleh WCR 0,8 yang mencapai 36,54 MPa dalam waktu 28 hari. Gambar 8 menunjukkan hubungan antara WCR, *Setting time* dan kuat tekan untuk campuran yang menggunakan air dan semen.



Gambar 8.

Grafik Hubungan Antara WCR, *Setting Time* dan Kuat Tekan Campuran Air dan Semen

Hasil dari uji kuat tekan campuran air dan semen dengan WCR 0,8 tidak sesuai dengan standar yang dipakai oleh PTFI. Kuat tekan yang memenuhi standar PTFI adalah 40MPa dalam waktu 28 hari sehingga dengan kuat tekan 40 MPa dalam waktu 28 hari *grouting* yang diinjeksikan ini mempunyai fungsi sebagai material untuk perkuatan batuan di sekitar area yang diinjeksikan

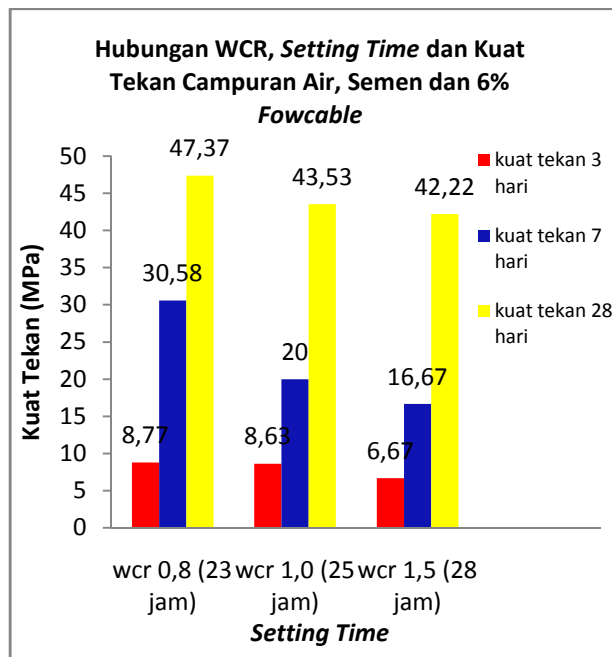
Namun dalam penambahan zat aditif seperti *flowcable* dan *glenium*, dalam perbandingan yang sama maka di dapatkan kuat tekan yang berbeda dimana pada penambahan zat aditif ini kuat tekannya akan semakin meningkat, tetapi mempunyai *setting time* yang lama, sehingga dalam peng-gunaannya harus dipertimbangkan sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

Pada penambahan *flowcable* yang ditentukan 6% dari berat semen maka *setting time* yang dihasilkan lebih lama dari pada *setting time* pada komposisi yang hanya menggunakan air dan semen, namun pada *water cement ratio* yang sama campuran dengan menggunakan *flowcable* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan

campuran yang hanya menggunakan air dan semen, campuran dengan menggunakan *flowcable* dengan WCR 0,8 mencapai kuat tekan 41,67 MPa dalam waktu 28 hari yang sesuai dengan standar PTFI yaitu 40 MPa dalam waktu 28 hari. Dapat dilihat pada Gambar 9.

Kuat tekan yang dihasilkan dari campuran air, semen dan 6% *flowcable* dengan WCR 0,8 mencapai 41,67 MPa dalam waktu 28 hari sehingga campuran ini jika diinjeksikan ke dalam rekahan yang dialiri aliran air juga dapat berfungsi sebagai perkuatan batuan.

Penambahan *glenium* pada campuran *grouting*, pada komposisi yang sama, campuran *grouting* yang menggunakan 2% *glenium* mempunyai *setting time* yang sangat lama dibandingkan dengan campuran air dan semen, juga air, semen dan *flowcable* (dengan



Gambar 9.

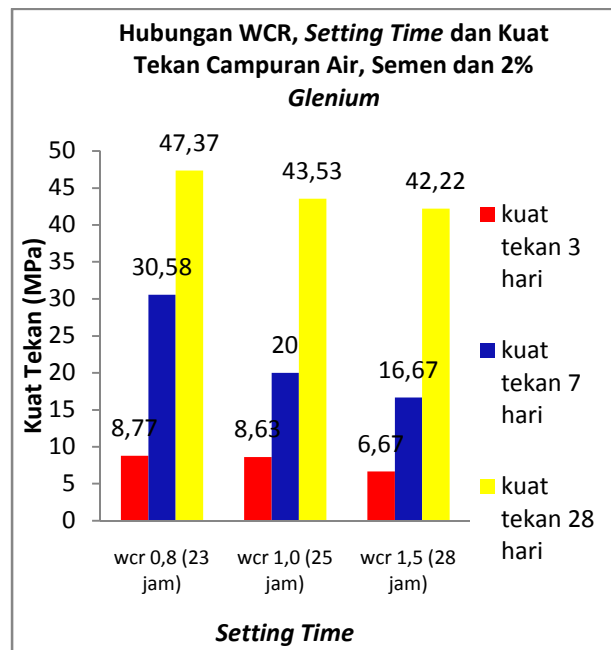
Grafik Hubungan Antara WCR, *Setting Time* dan Kuat Tekan Campuran Air, Semen dan 6% *Flowcable*

*water cement ratio* yang sama) namun penambahan *glenium* ini menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dua komposisi yang lainnya. Dapat dilihat pada Gambar 10

Hubungan antara *setting time* dan kekuatan dari *grouting* untuk semen injeksi berbanding terbalik. Semakin lama *setting time* dari campuran *grouting* semen injeksi maka kekuatan dari *grouting* tersebut semakin kecil. Hal ini juga disebabkan kandungan air yang terdapat dalam pasta semen yang dibentuk, karena jika kandungan air dalam pasta semen yang terbentuk semakin banyak maka proses hidrasi akan semakin lama yang berakibat pada menurunnya kuat tekan dari *grouting* yang terbentuk. Tetapi volume semen yang terbentuk dengan penambahan *glenium* dan *flowcable* semakin kecil jika *water cement rationya* semakin besar.

*Setting time* dari *grouting* ini akan berpengaruh pada pengerasan dari semen tersebut. Pergeseran ini akan semakin baik dari waktu ke waktu, hal ini dapat dibuktikan dengan makin lama waktu setelah pembentukan *setting time* maka kekuatan dari pasta semen *grouting* yang terbentuk akan semakin kuat atau semakin meningkat dari hari ke hari. Untuk itu *hardening* ini juga sangat penting dalam campuran pasta semen *grouting*.

Dalam aplikasinya, *hardening* ini akan berpengaruh pada pengikatan semen dengan batuan-batuan yang mempunyai rekahan-rekahan dimana dilakukan penginjeksian semen. Semen yang diinjeksikan akan mengikat betuan yang terlepas sehingga batuan tersebut dapat terikat oleh semen *grouting* yang diinjeksikan. dengan demikian maka batuan tersebut tidak meloloskan air.



Gambar 10.

Grafik Hubungan Antara WCR, *Setting Time* dan Kuat Tekan Campuran Air, Semen dan 2% *Glenium*

#### Kesimpulan

1. *Setting time* yang paling cepat adalah campuran air dan semen dengan *water cement ratio* 0,8 yaitu 18 jam.
2. *Setting time* dipengaruhi oleh *water cement ratio*, semakin besar *water cement ratio*, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk *grouting* tersebut mencapai *setting time*.
3. Kuat tekan yang paling baik adalah campuran air semen dan 6% *flowable* dengan *water cement ratio* 0,8 yaitu 41,67 MPa dalam waktu 28 hari dan sesuai dengan standar yang dipakai oleh PT. Freeport Indonesia yaitu 40 MPa dalam waktu 28 hari.

#### Saran

1. Komposisi yang disarankan untuk membuat campuran *grouting* semen injeksi untuk water stopping pada tambang bawah tanah DMLZ PT. Freeport Indonesia adalah *water cement ratio* 0,8 dengan penambahan 6% *flowable*.
2. Metode *grouting* semen injeksi merupakan metode baru yang digunakan, untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
3. Penggunaan zat-zat tambahan seperti *flowable* dan *glenium* perlu diperhatikan karena penggunaan ini membuat campuran

dari *grouting* akan semakin cair, sehingga komposisinya harus tepat.

4. Untuk kotak sampel yang berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm, dengan volume sampel yang menyusut setelah mengering akan menghasilkan volume sampel yang berbeda sehingga berpengaruh pada hasil uji kuat tekan dengan mesin UCS (*Uniaxial Compressive Strength*) semakin besar penyusutan (luas bidang tekan berkurang) maka beban yang di terima akan semakin kecil.

#### Daftar Pustaka

1. Hoolsby, A.C, 1990, Construction and Design of Cement Grouting, John Wiley and Son Inc., Canada.
2. Mairuhu, Selvi C.K, 2011, Analisis Pengaruh Water Cement Ratio Terhadap Kekuatan Shotcrete di Tambang Bawah Tanah Deep Ore Zone PT. Freeport Indonesia, Yogyakarta
3. Mulyono Tri, 2005, Teknologi Beton, Andi Offset, Yogyakarta,
4. Shroff Arvind V., 1993, Grouting Technology in Tunneling and Dam Construction, A.A. Balkema, Rotterdam



5. Warner James, 2004, Practical Handbook of Grouting, John Wiley and Son Inc., New Jersey.
6. ...., 2008, Deep Mill Level Zone Feasibility Study, PT. Freeport Indonesia, Tembagapura.